

13



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

11 Veröffentlichungsnummer:

**0 238 942  
A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 87103582.0

51 Int. Cl.: G 01 D 5/24

22 Anmeldetag: 12.03.87

30 Priorität: 22.03.86 DE 3609861

71 Anmelder: BAYER AG, Konzernverwaltung RP  
Patentabteilung, D-5090 Leverkusen 1 Bayerwerk (DE)

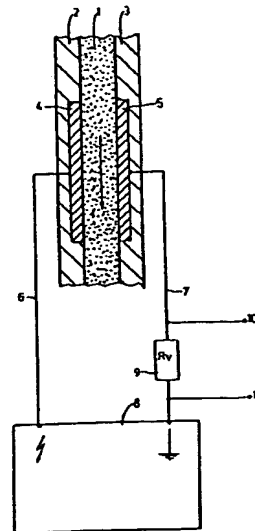
43 Veröffentlichungstag der Anmeldung: 30.09.87  
Patentblatt 87/40

72 Erfinder: Oppermann, Günter, Dr., Fichtestrasse 50,  
D-5090 Leverkusen (DE)  
Erfinder: Feld, Fritz, Obere Lindenstrasse 29,  
D-5090 Leverkusen 3 (DE)

64 Benannte Vertragsstaaten: AT BE CH DE ES FR GB IT LI  
NL SE

54 Sensorgesteuertes hydraulisches System mit elektroviskosen Flüssigkeiten.

57 Zur Kontrolle und Regelung des hydraulischen EVF-Systems ist ein systemintegrierter Bewegungssensor vorgesehen. Der Bewegungssensor beruht darauf, daß mit Hilfe der bereits vorhandenen Elektroden (4, 5), die zur Viskositätssteuerung der EVF in dem hydraulischen System dienen, gleichzeitig ein elektrisches Stromsignal erzeugt wird, das in einem festen Zusammenhang mit der Durchflußgeschwindigkeit der EVF zwischen den feststehenden oder gegeneinander verschiebbaren Elektroden steht. Der Bewegungssensor besteht dementsprechend aus den Elektroden (4, 5) mit der dazwischenliegenden EVF-Schicht (1) und einer mit den Elektroden (4, 5) verbundenen Schaltung (9, 10, 11) zur Messung des durch die Bewegung erzeugten elektrischen Signales. Das so gewonnene Meßsignal kann vorteilhaft zur Regelung oder Steuerung der Viskosität der EVF-Schicht herangezogen werden. Zu diesem Zweck wird das Meßsignal mit einem Sollwert verglichen und die Differenz zur Steuerung eines Hochspannungsgerätes benutzt, das eine von der Steuerspannung abhängige Ausgangsspannung liefert. Diese Ausgangsspannung wird an die Elektroden (4, 5) der EVF-Schicht (1) zurückgeführt und beeinflußt wiederum die Viskosität. Der Meßfühler für die Bewegung, d.h. die EVF-Schicht mit den zugehörigen Elektroden (4, 5) bildet also zugleich das Stellglied für die Beeinflussung der Bewegung.



EP 0 238 942 A1

5 BAYER AKTIENGESELLSCHAFT 5090 Leverkusen, Bayerwerk  
Konzernverwaltung RP 21. März 1986  
Patentabteilung Ki/by-c

10

Sensorgesteuertes hydraulisches System mit elektroviskosen  
Flüssigkeiten

---

15

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung und  
Regelung der Bewegung mechanischer Bauelemente in hydrau-  
lischen, mit elektroviskosen Flüssigkeiten (EVF) arbeiten-  
den Systemen. Eine solche Vorrichtung besteht im Prinzip  
20 aus einem mit Elektroden versehenen, mit der elektrovis-  
kosen Flüssigkeit gefüllten Strömungskanal oder aus einem  
geschlossenen System mit relativ zueinander bewegten  
Elektroden, wobei in beiden Fällen an den Elektroden eine  
elektrische Spannung anliegt. Derartige Bauelemente finden  
25 Verwendung in elektrisch gesteuerten aktiven Schwingungs-  
dämpfern, Stoßdämpfern, Lagerungen oder Kupplungen.

Elektroviskose Flüssigkeiten (EVF) sind Dispersionen fein-  
verteilter hydrophiler Feststoffe in hydrophoben elek-  
trisch nicht leitenden Ölen. Unter dem Einfluß eines hin-  
reichend starken elektrischen Feldes kann die Viskosität  
30 der EVF sehr schnell und reversibel vom flüssigen bis zum  
plastischen oder festen Zustand verändert werden. Zur An-  
regung der EVF kann man sowohl elektrische Gleich- als

35

5 auch Wechselfelder benutzen. Die dazu benötigten elektrischen Leistungen sind verhältnismäßig niedrig.

Die Anwendungsmöglichkeiten der EVF in hydraulischen Systemen sind grundsätzlich bekannt, beispielsweise in Hydraulikventilen ohne bewegte Teile und in Hydraulik-  
10 zylindern (z.B. US-PS 2.661.596), in Vibratoren (z.B. US-Patent 3.984.086), Viskositätskupplungen (z.B. US-Patent 2.417.850 und 2.661.825, DE-OS 3.128.959), Stoßdämpfern (z.B. US-Patent 3.207.269) oder Zweikammer-Motorlager mit hydraulischer Dämpfung (EP-OS 0.137.112).

15 Alle diese hydraulischen Systeme sind dadurch charakterisiert, daß sie mindestens zwei feste oder bewegliche beliebig gestaltete Elektrodenflächen besitzen, zwischen denen sich die EVF befindet. Durch Anlegen einer veränderbaren elektrischen Spannung kann z.B. die Strömungsgeschwindigkeit und damit der Druckabfall der EVF zwischen  
20 festen Elektroden oder der Kraftschluß zwischen beweglichen Elektrodenflächen in weiten Bereichen gesteuert werden. Dazu können z.B. handelsübliche Hochspannungs-  
25 geräte mit fester oder veränderbarer Ausgangsspannung benutzt werden.

In vielen praktischen Anwendungsfällen soll eine selbsttätige Regelung des hydraulischen Systems in Abhängigkeit  
30 vom jeweiligen Bewegungszustand erreicht werden. Zum Beispiel soll bei einem Stoß- oder Schwingungsdämpfer die Viskosität der EVF mit Hilfe der Steuerspannung immer so eingestellt werden, daß bei allen Betriebszuständen eine

35

5 optimale Dämpfung erreicht wird. Dazu ist ein Regelkreis  
notwendig, der mit Hilfe geeigneter Sensoren (z.B. Weg-,  
Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsaufnehmer) den je-  
weiligen Bewegungszustand des hydraulischen Systems  
erfassen kann und über einen Regelalgorithmus die zur  
10 optimalen Viskositätssteuerung notwendige Spannung er-  
zeugt.

Durch den Einbau solcher Bewegungssensoren einschließlich  
der dazugehörigen Meßkabel und Meßgeräte wird der Gesamt-  
aufbau des hydraulischen Systems aufwendiger, kompli-  
15 zierter und möglicherweise auch störanfälliger, insbe-  
sondere auch dann, wenn die Montage an schwerzugänglichen  
Stellen erfolgen muß.

Hier setzt die Erfindung ein. Es lag die Aufgabe zugrunde,  
20 eine einfache Möglichkeit zur Kontrolle und Regelung des  
hydraulischen EVF-Systems zu finden, ohne daß der zusätz-  
liche Einbau von Bewegungssensoren erforderlich wird. Da-  
durch wird eine einfache kompakte Bauweise des gesamten  
hydraulischen Systems ermöglicht.

25 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mit  
Hilfe der bereits vorhandenen Elektroden, die zur Viskosi-  
tätssteuerung der EVF in dem hydraulischen System dienen,  
gleichzeitig ein elektrisches Stromsignal erzeugt wird,  
30 das in einem weiten Bereich proportional ist zum Betrag  
der Durchflußgeschwindigkeit der EVF zwischen festen Elek-  
troden oder proportional ist zum Betrag der Relativege-  
schwindigkeit zweier oder mehrerer gegeneinander ver-  
schiebbarer Elektroden. Im ersten Fall ist das elek-

35

trische Signal auf die als Folge der mechanischen Bewegung  
5 zwischen den Elektroden hindurchströmende EVF zurückzu-  
führen, während es sich im zweiten Fall um einen Ver-  
schiebungsstrom handelt, der durch die Bewegung der Elek-  
troden in der polarisierten EVF erzeugt wird. Die zwischen  
den beiden Elektroden liegende EVF-Schicht bildet also zu-  
10 sammen mit einem Strommeßgerät im äußeren Schließungskreis  
einen Bewegungssensor. Das Sensorsignal kann zur Kontrolle  
oder zur Regelung des Bewegungszustandes des hydraulischen  
Systems ausgenutzt werden, beispielsweise für eine ge-  
schwindigkeits- und/oder frequenzabhängige Regelung eines  
15 Stoß- oder Schwingungsdämpfers.

Das bewegungsabhängige Signal erhält man vorzugsweise  
durch Messung des bewegungsabhängigen Anteils der elektri-  
schen Leitfähigkeit der zwischen den Elektroden befind-  
20 lichen EVF. Die Messung der Leitfähigkeit erfolgt durch  
Messung der Elektrodenspannung (z.B. über eine Reihe von  
Widerständen, die als Spannungsteiler geschaltet sind) und  
durch Messung des Elektrodenstroms (z.B. durch Messung des  
Spannungsabfalls an einem in den Elektrodenstromkreis ge-  
25 schalteten Vorwiderstand). Um ein der elektrischen Leit-  
fähigkeit analoges elektrisches Signal zu erhalten, muß  
das Stromsignal in einer besonderen Schaltung durch die  
Elektrodenspannung dividiert werden, beispielsweise mit  
Hilfe eines handelsüblichen integrierten Dividier-Bau-  
30 steins. Das so gewonnene Meßsignal kann vorteilhaft zur  
Regelung oder Steuerung der Viskosität der EVF-Schicht  
herangezogen werden. Zu diesem Zweck wird das der Leit-  
fähigkeit der EVF-Schicht entsprechende Meßsignal mit  
einem Sollwert verglichen und die Differenzspannung zur  
35 Steuerung eines Hochspannungsgerätes benutzt, das eine

variable von der Steuerspannung abhängige Ausgangsspannung  
5 liefert. Die Ausgangsspannung wird an die Elektroden der  
EVF-Schicht zurückgeführt und beeinflusst wiederum die Vis-  
kosität. Ungewöhnlich ist bei dieser Regelung, daß der  
Meßfühler für die Bewegung d.h. die EVF-Schicht mit den  
zugehörigen Elektroden zugleich das Stellglied für die  
10 Beeinflussung der Bewegung bildet.

Für den Fall, daß keine Regelung vorgesehen ist und mit  
konstanter Elektrodenspannung gearbeitet werden kann  
genügt die Strommessung im äußeren Schließungskreis um  
15 einen einfachen Bewegungssensor zu realisieren.

Die Erfindung beruht grundsätzlich auf der Beobachtung,  
daß der durch die EVF fließende Strom bei konstanter Tem-  
peratur nicht nur von der angelegten Spannung, bzw. der  
20 elektrischen Feldstärke und der Elektrodengeometrie (Elektrodenfläche und Abstand der Elektroden) abhängt, sondern  
auch von der Relativgeschwindigkeit der EVF in Bezug auf  
die Elektroden. Das gilt sowohl für eine zwischen zwei  
festangeordneten Elektrodenflächen strömende EVF (wie z.B.  
25 in einem EVF-Hydraulikventil) als auch für die Relativge-  
schwindigkeit zweier Elektrodenflächen, die sich in einer  
EVF gegeneinander bewegen (wie z.B. in einem mit einer EVF  
gefüllten Stoßdämpfer, dessen Elektrodenflächen von der  
inneren Zylindermantelfläche und der Mantelfläche des be-  
30 wegten Kolbens gebildet werden können). In beiden Fällen  
wird die von den Elektrodenflächen begrenzte EVF einer  
Scherung, bzw. einer Deformation ausgesetzt, die der Rela-  
tivgeschwindigkeit zwischen Elektroden und EVF propor-  
tional ist. Diese Scherung bewirkt eine Veränderung der  
35

5 elektrischen Leitfähigkeit der EVF im Vergleich zum Ruhezustand. Da es sich bei den EVF i.a. um Dispersionen handelt, sind verschiedene Mechanismen denkbar, die zu einer Änderung der Leitfähigkeit mit der Scher- oder Deformationsgeschwindigkeit führen können, z.B. Zerstören einer Struktur, Deformation der die dispergierten Teilchen umgebenden Ionenwolken bei Scherung oder elektrophoretische Mechanismen des Ladungstransports.

10

Die Änderung der Leitfähigkeit mit der Scher- oder Deformationsgeschwindigkeit hängt davon ab, ob an die Elektroden eine Gleichspannung oder Wechselspannung angelegt wird.

15

Mit Gleichspannung beobachtet man i.a. eine deutliche Zunahme der Leitfähigkeit und damit des Stromes mit zunehmender Schergeschwindigkeit, mit Wechselspannung i.a. dagegen eine Abnahme. Die Leitfähigkeitsänderung hängt nur vom Betrag der Schergeschwindigkeit ab, nicht aber von deren Richtung. Das zeigt sich deutlich bei periodischen Schwingungsbewegungen der Flüssigkeit oder der Elektroden, wie sie beispielsweise in hydraulischen Stoßdämpfern, Schwingungsdämpfern oder Lagerungen auftreten.

20

25

In den folgenden Abbildungen soll die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Bewegungsmessung zunächst anhand einfacher Beispiele näher erläutert werden. Danach wird in weiteren Beispielen beschrieben, wie das an den Elektroden abgegriffene Bewegungssignal zur Regelung des hydraulischen Systems ausgenutzt werden kann.

30

35

Es zeigt:

5

Fig. 1 einen schematischen Längsschnitt durch einen Teil eines hydraulischen, mit einer elektroviskosen Flüssigkeit gefüllten Systems mit zwei festen Elektroden und einer Schaltung zur Strommessung

10

Fig. 2 den Zusammenhang zwischen der Durchflußgeschwindigkeit der EVF in dem Strömungskanal des hydraulischen Systems (Fig. 2a) und dem gleichzeitig bei konstanter Elektrodenspannung gemessenen Stromsignal (Fig. 2b)

15

Fig. 3 den gleichen Zusammenhang wie bei dem Versuch gemäß Fig. 2, jedoch mit doppelt so großer Elektrodenspannung

20

Fig. 4 eine Schaltung zur Messung der Leitfähigkeit der elektroviskosen Flüssigkeit mit einer selbsttätigen Nachregelung der Elektrodenspannung und damit der Dämpfung des hydraulischen Systems

25

Fig. 5 ein weiteres Schaltungsbeispiel für die analoge Division des Stromsignals durch das Spannungssignal auf der Basis eines Optokopplers zusammen mit der Nachregelung der Elektrodenspannung

30

Fig. 6 den Zusammenhang zwischen der Durchflußgeschwindigkeit der EVF im Strömungskanal und dem gemessenen Stromsignal, wenn der Anstieg des

35



5                   Stromsignals mit zunehmender Elektrodenspannung  
mit einer Schaltung nach Fig. 4 oder 5 gerade  
kompensiert wird und

Fig. 7           prinzipiell den gleichen Zusammenhang wie in  
Fig. 2, jedoch bei Betrieb der Elektroden mit  
10               einer Wechselspannung konstanter Amplitude.

Gemäß Fig. 1 befindet sich die EVF in einem Kanal 1, der  
von den Wänden 2, 3 begrenzt wird, und der beispielsweise  
die zwei Kammern eines hydraulischen Stoßdämpfers,  
15               Schwingungsdämpfers oder einer hydraulischen Zweikammer-  
Motorlagerung miteinander verbindet. Die in die Wände 2  
und 3 isoliert eingebauten Elektroden 4, 5 sind über die  
Zuleitungen 6, 7 mit dem Hochspannungsgerät 8 verbunden,  
mit dessen Hilfe eine beliebige konstante Gleichspannung  
20               U, bzw. Feldstärke E eingestellt wird. Zur Strommessung  
schaltet man am einfachsten einen passend dimensionierten  
Widerstand  $R_v$  9 in die erdnahe Zuleitung 7 und greift  
zwischen den Punkten 10, 11 die dem Strom I proportionale  
Signalspannung  $U_{\text{sig.}} = R_v \cdot I$  ab. (Einige handelsübliche  
25               Hochspannungsgeräte besitzen bereits einen analogen Strom-  
monitorausgang).

Abb. 2 zeigt an einem typischen Beispiel aus der Praxis  
den Zusammenhang zwischen (a) der Durchflußgeschwindigkeit  
30                $v(t)$  der EVF in dem Kanal 1 und (b) dem gleichzeitig bei  
konstanter Elektrodenspannung  $U = U_1$  gemessenen Strom-  
signal  $U_{\text{sig.}}(t)$ . Zur Zeit  $t = 0$  bis  $t = t_1$  befindet sich  
das hydraulische System (z.B. hydraulisches Zweikammer-  
lager) in Ruhe ( $v = 0$ ). Es fließt ein verhältnismäßig ge-  
35               ringer Ruhestrom  $I_0$ , der am Widerstand 9 die Signal-

spannung  $U_0$  erzeugt. Im Zeitintervall  $t_1$  bis  $t_2$  wird das  
5 hydraulische System durch eine äußere Kraft angestoßen und  
schwingt für  $t > t_2$  mit einer Folge positiver und  
negativer Schwingungsamplituden  $v(t)$  frei aus (Abb. 2a).  
Das Stromsignal  $U_{\text{Sign.}}(t)$  folgt dem Verlauf der  
Strömungsgeschwindigkeit mit guter Näherung, allerdings  
10 unabhängig von der Richtung der Strömung, so daß man in  
Abb. 2b nur eine Folge von Signalamplituden gleichen Vor-  
zeichens beobachtet. Der bewegungsabhängige Anteil des  
Signals ist die Differenz  $U_{\text{Sign.}}(t) - U_0$ , die bei  
konstanter Elektrodenspannung  $U = U_1$  dem Betrag der  
15 Durchflußgeschwindigkeit  $v(t)$  proportional ist, d.h. es  
gilt die Beziehung

$$(1) \quad |v(t)| \approx A \cdot (U_{\text{Sign.}}(t) - U_0)$$

20 mit dem Proportionalitätsfaktor  $A$ , der für jedes hydrau-  
lische System experimentell bestimmt werden kann.

In der Praxis wird das hydraulische System mit unter-  
schiedlichen Elektrodenspannungen betrieben, um die Vis-  
25 kosität der EVF den jeweiligen Erfordernissen anzupassen.  
In diesem Fall muß die Spannungsabhängigkeit des Stroms  
berücksichtigt werden, die für die EVF gemessen werden  
kann. In erster Näherung kann man jedoch Proportionalität  
zwischen Strom, bzw. Stromsignal und Elektrodenspannung  
30 annehmen, wie man beim Vergleich der Abb. 2b und 3b  
erkennen kann. In Abb. 3 wurde der oben beschriebene  
Versuch mit der doppelten Elektrodenspannung  $U = 2 \cdot U_1$   
bei sonst gleichen Bedingungen wiederholt. Bei vergleich-  
baren Amplituden der Durchflußgeschwindigkeit  $v(t)$  wird  
35

5       jetzt das Stromsignal  $U_{\text{Sign.}}(t) - U_0$  etwas mehr als  
doppelt so hoch wie in Abb. 2b, d.h. der Quotient aus  
Strom und Spannung, der der elektrischen Leitfähigkeit  
entspricht, kann als ungefähres Maß für die Durchflußge-  
schwindigkeit der EVF verwendet werden. Anstelle der  
10       Beziehung (1) tritt nun die Näherungsgleichung

$$(2) \quad I_v(t)/I_A \cdot \frac{U_{\text{Sign.}}(t) - U_0}{U(t)}$$

15       . In (2) kann die Elektrodenspannung auch zeitlich veränder-  
lich sein:  $U = U(t)$ .

Zur praktischen Anwendung der Beziehung (2) zur Kontrolle  
und Regelung des Bewegungszustandes eines hydraulischen  
20       Systems kann die Division des bewegungsabhängigen Anteils  
des Stromsignals  $U_{\text{Sign.}}(t) - U_0$  durch die Elektroden-  
spannung  $U(t)$  entweder analog oder mit Hilfe von AD-, bzw.  
DA-Konvertern und Mikroprozessoren auch digital durchge-  
führt werden. Dazu muß die an den Elektroden anliegende  
25       Hochspannung  $U(t)$  über geeignete Spannungsteiler in den  
Niederspannungsbereich geteilt werden. Einige handelsüb-  
liche Hochspannungsgeräte besitzen bereits einen  
Spannungsmonitorausgang (z.B. 0-10 V), der für diese  
Zwecke genutzt werden kann. Das Hochspannungsgerät (8) muß  
30       ferner einen entsprechenden analogen Steuereingang be-  
sitzen, über den die erforderliche Hochspannung einge-  
stellt werden kann. Die analoge Division des Stromsignals  
und des Spannungsmonitorsignals kann am einfachsten mit

35

5 Hilfe eines handelsüblichen integrierten Dividierbausteins  
durchgeführt werden, wie in dem Beispiel der Abb. 4 erläu-  
tert wird. Die an den Widerständen 12, 13 des Spannungs-  
teilers abgegriffene Elektrodenspannung wird über den An-  
schluß 14, und das am Widerstand 9 abfallende Stromsignal  
10, wird über den Anschluß 10 dem Dividierbaustein 15 zuge-  
führt. Der Quotient der beiden Analogsignale steht am Aus-  
gang 16 als analoges Signal zur Verfügung und kann nach  
entsprechender Umformung oder Verstärkung zur Steuerung  
der Hochspannung auf den Steuereingang 17 des Hoch-  
spannungsgerätes 8 gelegt werden. Zum Betrieb des erfin-  
15 dungsgemäßen Sensors muß auch im Ruhezustand des hydrau-  
lischen Systems eine verhältnismäßig geringe Spannung an  
den Elektroden 4, 5 liegen. Diese Vorspannung kann bei-  
spielsweise über den Addierer 18 mittels des Potentio-  
meters 19 eingestellt werden. Man stellt zweckmäßigerweise  
20 die Vorspannung so ein, daß die daraus resultierende Feld-  
stärke  $E$  in der EVF unterhalb der Schwellfeldstärke  $E_0$   
bleibt und daher noch keine nennenswerte Viskositätser-  
höhung auftritt. Bei einer Bewegung des hydraulischen  
Systems infolge einer äußeren Krafteinwirkung erfolgt eine  
25 Bewegung der EVF zwischen den Elektroden 4, 5, die auf-  
grund der damit verbundenen Änderung der Leitfähigkeit er-  
kannt und von der Schaltung in ein entsprechendes Steuer-  
signal umgesetzt wird. Das Steuersignal kann beispiels-  
weise eine Erhöhung der Ausgangsspannung des Hochspan-  
30 nungsgerätes 8 bewirken, was zu einer entsprechenden  
Viskositätserhöhung der EVF und damit zu einer höheren  
Dämpfung des hydraulischen Systems führt. Die mit der  
Spannungserhöhung verbundene Stromerhöhung wird im

35

5 Dividierbaustein 15 kompensiert, so daß ein Aufschaukeln  
der Elektrodenspannung durch Rückkopplung vermieden wird.  
Bei Abnahme der Leitfähigkeit infolge der höheren Dämpfung  
des hydraulischen Systems verringert sich auch die  
Elektrodenspannung auf den eingestellten Anfangswert. Ein  
10 besonderer Vorteil dieser Regelung liegt darin, daß die  
EVF-Schicht mit den Elektroden 4 und 5 gleichzeitig das  
Meßglied und das Stellglied bildet. Das Meßsignal ist  
dabei, wie oben beschrieben, die mit einem Sollwert ver-  
glichene Leitfähigkeit der EVF-Schicht; das Regelsignal  
ist die vom Meßsignal abhängige Ausgangsspannung des Hoch-  
15 spannungsgerätes 8.

Abb. 5 zeigt ein weiteres einfaches Beispiel für die  
Durchführung der analogen Division des Stromsignals und  
des Spannungsmonitorsignals und ihre Anwendung zur Rege-  
20 lung des hydraulischen Systems. Anstelle des festen Vor-  
widerstands  $R_v$  9 schaltet man in die Leitung 7 einen Opto-  
koppler 20 mit variablen Widerstand 21, der über die  
Helligkeit einer Leuchtdiode 22 gesteuert wird. Die am  
Spannungsteiler 12, 13 abgegriffene Elektrodenspannung,  
25 bzw. die Monitorspannung wird über 14 und die Optokoppler-  
steuerung 23 zur Steuerung des variablen Vorwiderstandes  
 $R_v$  benutzt. Auf diese Weise wird der Vorwiderstand mit  
zunehmender Elektroden- bzw. Monitorspannung kleiner und  
damit auch der durch den Strom  $I$  bedingte Spannungsabfall  
30  $U_{\text{Sign.}}(t)$ , so daß der Anstieg des Stromsignals mit  
zunehmender Elektrodenspannung gerade kompensiert wird.  
Die Wirkungsweise dieser Schaltung entspricht der oben be-  
schriebenen. Abb. 6 zeigt dafür ein Beispiel. Der in den

35

Abb. 1 und 2 beschriebene Versuch wurde mit der Schaltung  
5 in Abb. 5 wiederholt. Die Vorspannung der Elektroden 4,  
5 wurde im Ruhezustand des hydraulischen Systems einge-  
stellt. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird das System angestoßen.  
Kurve b zeigt den zeitlichen Verlauf des über 24 ver-  
10 stärkten Spannungsabfalls am Widerstand 21 des Opto-  
kopplers (anstatt der Differenz  $U_{\text{Sign.}}(t) - U_0$  wurde der  
Wechselspannungsanteil des Signals  $U_{\text{Sign.}}(t)$  verwendet).  
Kurve c zeigt den Verlauf der Monitorspannung des Hoch-  
spannungsgerätes 8, der proportional zu der Elektroden-  
15 spannung ist. Die Elektrodenspannung wird beim Einsetzen  
der Bewegung entsprechend der Signalamplitude erhöht bzw.  
nimmt mit abnehmender Signalamplitude, d.h. abnehmender  
Geschwindigkeit ab. Wegen der geringen Leitfähigkeit der  
EVF im Ruhezustand dauert die Entladung des Hochspannungs-  
20 gerätes entsprechend lange.

Abb. 7 demonstriert, daß man auch bei Betrieb der Elek-  
troden mit Wechselspannung Änderungen der elektrischen  
Leitfähigkeit bzw. des Stroms mit der Durchflußgeschwin-  
25 digkeit der EVF bzw. der Relativgeschwindigkeit der Elek-  
troden in Bezug auf die EVF beobachten kann. Kurve b zeigt  
den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit  $v(t)$  und b, den  
der Wechselstromamplitude (nach Gleichrichtung und  
Glättung). Im Ruhezustand  $t = 0$  bis  $t = t_1$  ist der effek-  
30 tive Strom verhältnismäßig hoch. Mit dem Einsetzen der  
Bewegung bei  $t = t_1$  nimmt die Wechselstromleitfähigkeit  
ab und steigt allmählich mit dem Abklingen der Schwin-  
gungen auf den alten Wert an. Dabei entspricht jedem Maxi-  
mum des Geschwindigkeitsbetrages ein relatives Minimum des  
35 Stroms bzw. der Leitfähigkeit. Der Zusammenhang zwischen  
Strom und Geschwindigkeitsbetrag ist hier nicht linear.

- 5 Auch diese Leitfähigkeitsänderung läßt sich in entsprechenden Schaltungen nach den Abb. 4 und 5 zur Regelung ausnutzen. Die Frequenz der Wechselspannung sollte dabei allerdings größer sein als die Frequenz der zu steuernden mechanischen Schwingungen.
- 10 Die angegebenen Beispiele zeigen bereits, daß sich die an den Elektroden abgegriffenen Strom- und Spannungssignale mit einfachen elektronischen Schaltungen umformen und zur Messung und Regelung des Bewegungszustandes eines hydraulischen Systems ausnutzen lassen. Die Schaltungen lassen
- 15 sich noch beliebig verbessern und an die jeweiligen Anforderungen anpassen, z.B. läßt sich die einfache Division des Stromsignals durch das Spannungsmonitorsignal durch eine genauere elektronische Nachbildung der gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinie der EVF ersetzen.
- 20 Bevorzugt läßt sich die Erfindung bei hydraulischen Systemen anwenden, bei denen eine geschwindigkeitsabhängige Steuerung oder Regelung erforderlich, z.B. bei Schwingungsdämpfern, Stoßdämpfern oder Lagerungen, da die
- 25 Dämpfung proportional zur Durchflußgeschwindigkeit der Hydraulikflüssigkeit ist.
- 30 Die Änderungen des Stroms bzw. der Leitfähigkeit sind nicht nur bei großen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit der EVF bzw. der Relativgeschwindigkeit zu beobachten, sondern auch bei sehr kleinen Erschütterungen des Systems, bei denen die EVF zwischen den Elektroden nur oszillatorische Bewegungen sehr kleiner Amplituden aus-
- 35 führt.

5      Zur weiteren Verbesserung der Regelung des hydraulischen  
Systems kann mit Hilfe der gemessenen Signale nicht nur  
die Amplitude, sondern auch die Frequenz der Schwingungen  
eines Systems gemessen und für Regelungszwecke ausgenutzt  
werden.

10     Zu diesem Zweck wird das Stromsignal parallel einem han-  
delsüblichen Frequenzmesser, Frequenzanalysator oder ent-  
sprechenden elektronischen Schaltungen (Filter,  
Diskriminator usw.) zugeführt.

15

20

25

30

35



Patentansprüche

5

1. Vorrichtung zur Messung und/oder Regelung der Bewegung mechanischer Bauelemente in hydraulischen, mit elektroviskosen Flüssigkeiten (EVF) arbeitenden Systemen, insbesondere Schwingungsdämpfern, Stoß-  
10 dämpfern, Lagerungen oder Kupplungen, die einen mit Elektroden versehenen Strömungskanal oder relativ zueinander bewegte Elektroden aufweisen und an den Elektroden eine elektrische Spannung anliegt, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstrecke für die Bewegung  
15 durch die beiden Elektroden (4, 5) und die dazwischen liegende EVF-Schicht (1) gebildet wird und die Elektroden (4, 5) mit einer Schaltung (9, 10, 11) zur Messung der durch die Bewegung verursachten Stromaufnahme verbunden ist.

20

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zu der Strommessung eine Spannungsmessung an den Elektroden (4, 5) vorgesehen ist und als Meßgröße für die Bewegung der in erster Näherung  
25 von der Elektrodenspannung unabhängige Quotient Strom/Spannung gebildet wird, der entweder in digitaler Form oder als analoges Signal vorliegt und der Leitfähigkeit der zwischen den Elektroden (4, 5) liegenden EVF-Schicht (1) entspricht.

30

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Regelkreis vorgesehen ist, bei dem die gemessene Leitfähigkeit der EVF-Schicht (1) mit einem Sollwert verglichen wird, das Differenzsignal über  
35

- 5 den Steuereingang (11, 17), die Ausgangsspannung  
eines Hochspannungsgerätes (8) steuert und die  
Ausgangsspannung über die Elektroden (4, 5) der  
gleichzeitig als Meßglied und Stellglied wirkenden  
EVF-Schicht (1) zugeführt wird.
- 10 4. Vorrichtung nach Anspruch 2 bis 3, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß in einer der beiden Elektroden-Zu-  
leitungen (6, 7) ein variabler Vorwiderstand (21)  
angeordnet ist, der durch eine Leuchtdiode (22) in  
15 der Weise gesteuert wird, daß der durch die Zunahme  
der Elektrodenspannung bedingte Anstieg des  
Stromsignals gerade kompensiert wird.
- 20 5. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß neben der Strom- bzw. Spannungsmessung  
eine Schaltung zur Frequenzmessung des Stromsignals  
vorgesehen ist.

25

30

35

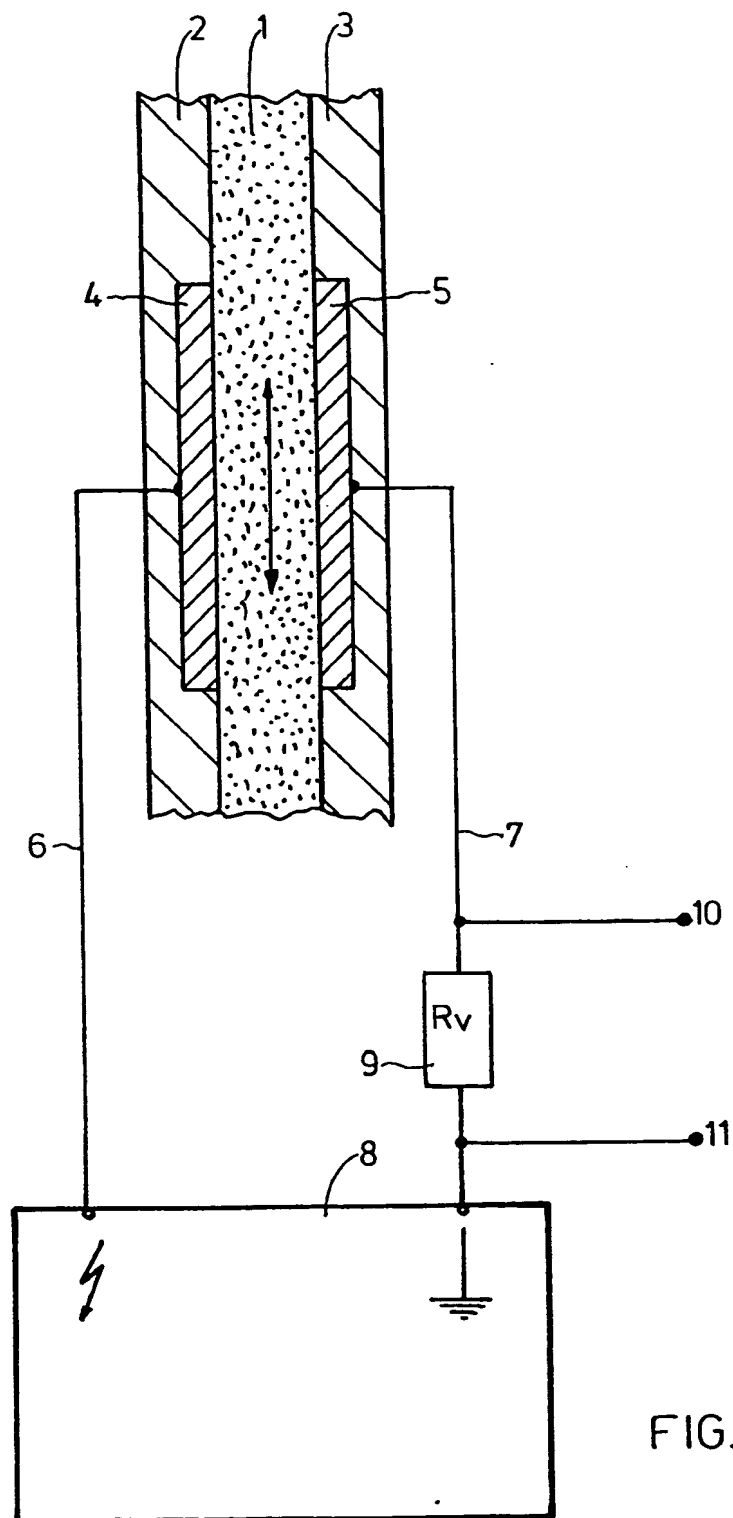


FIG. 1

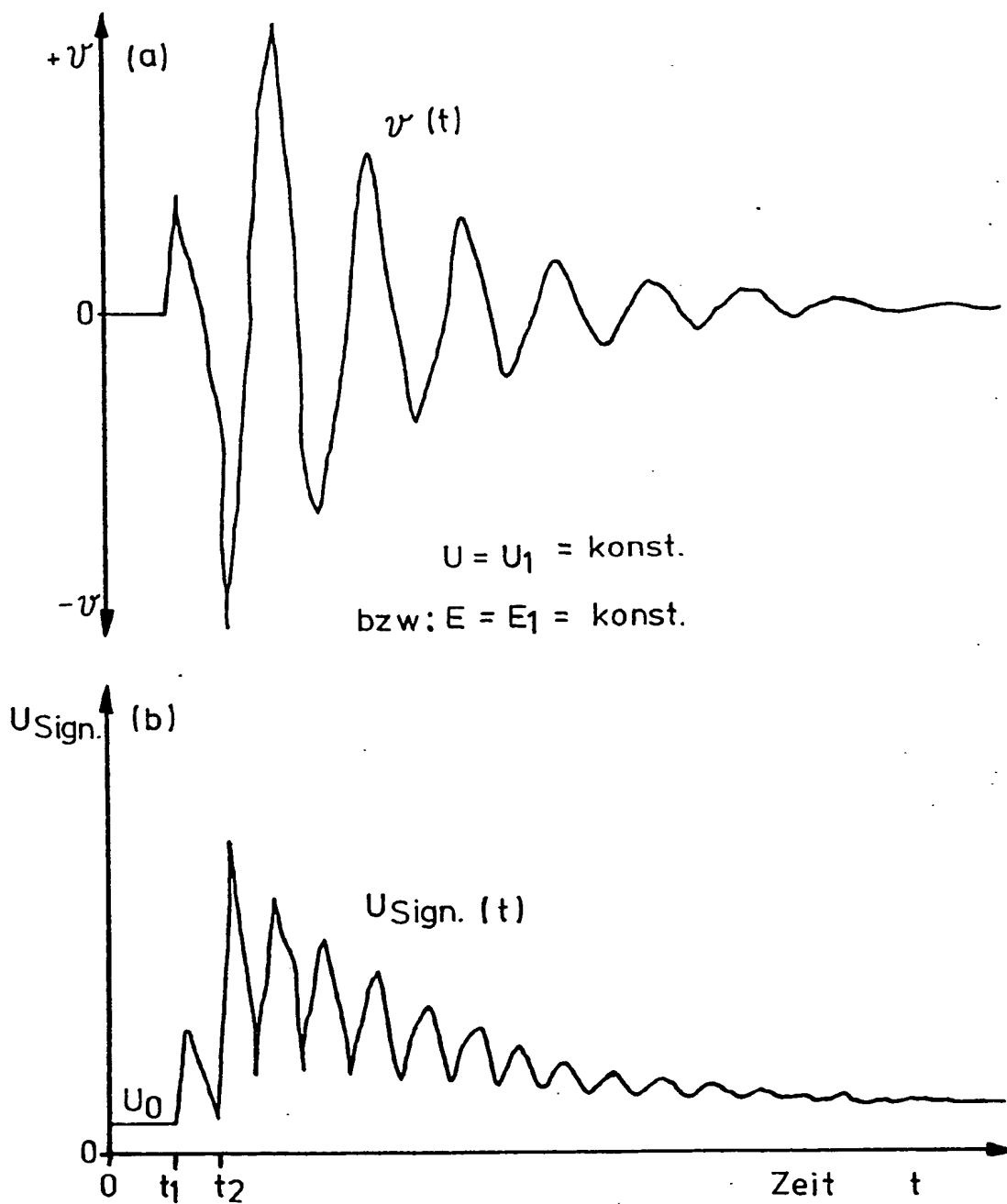


FIG. 2

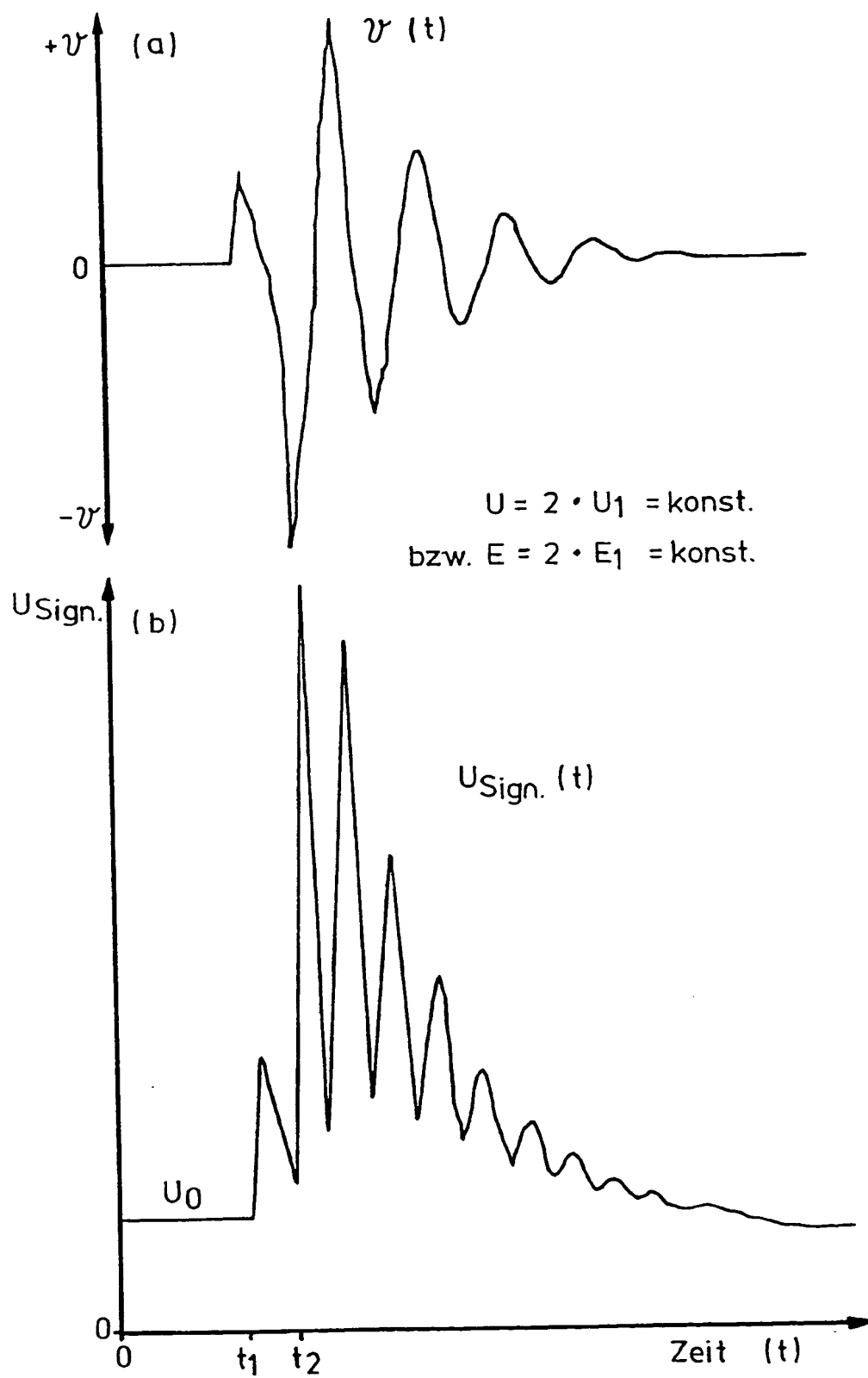
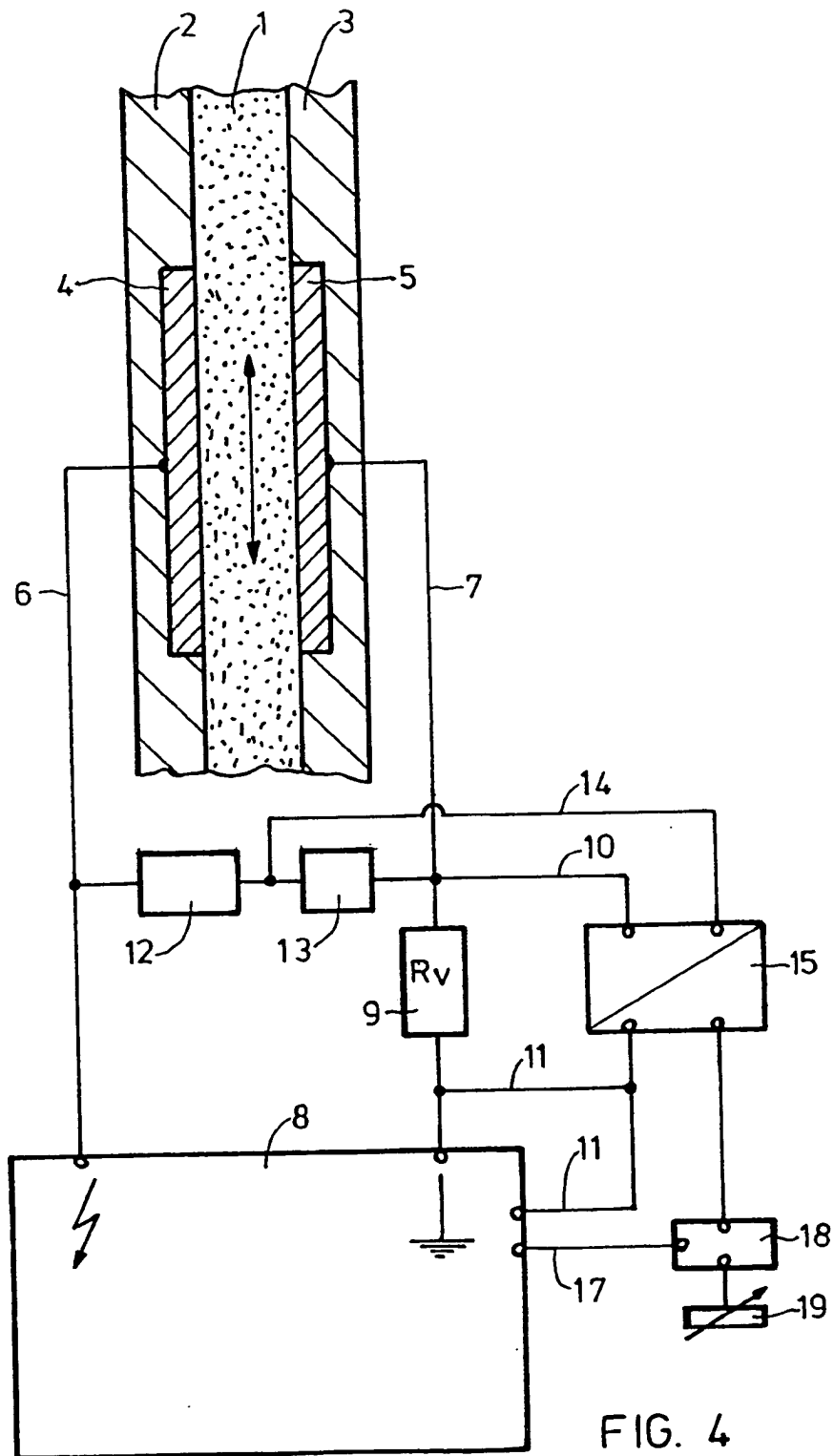
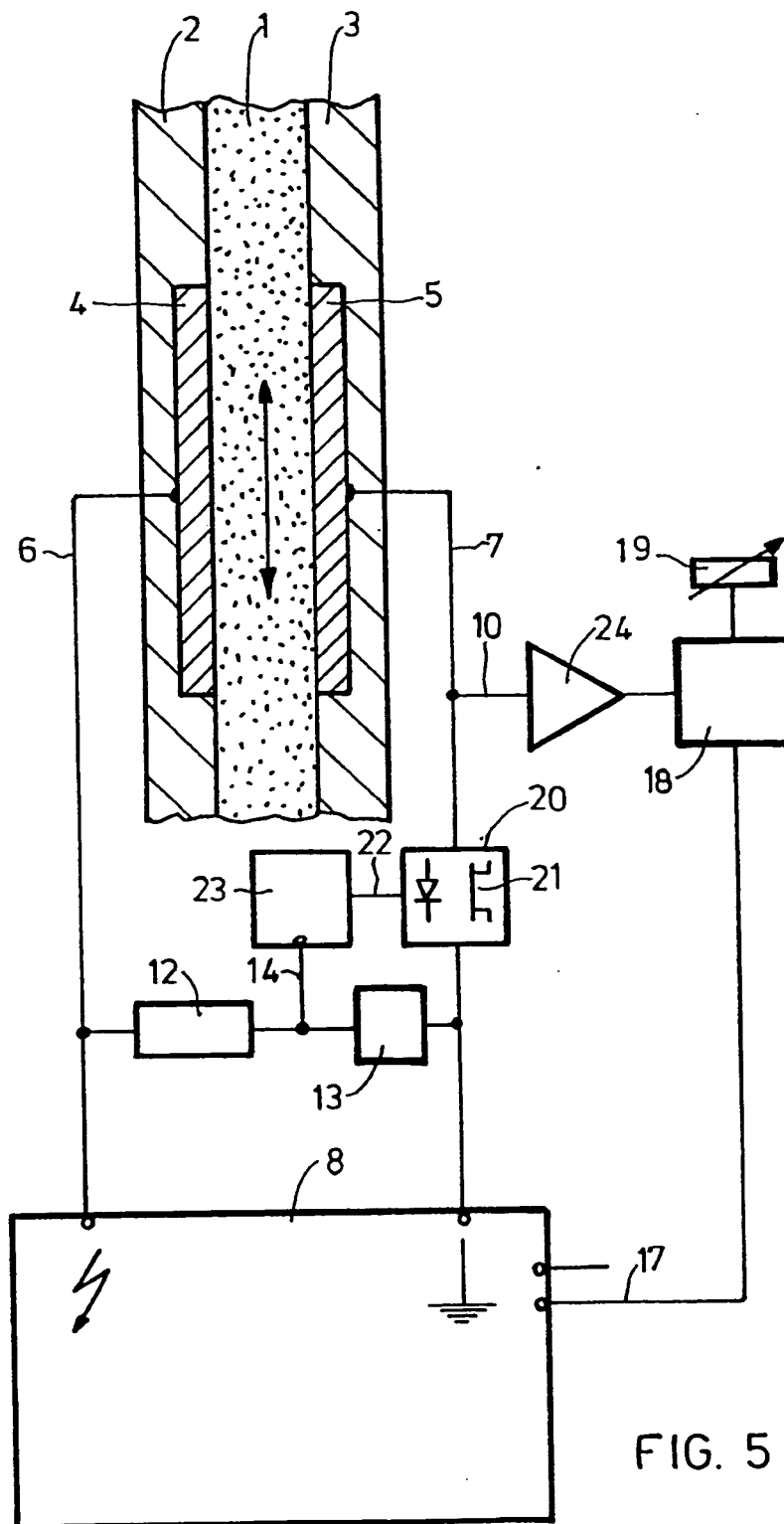


FIG. 3





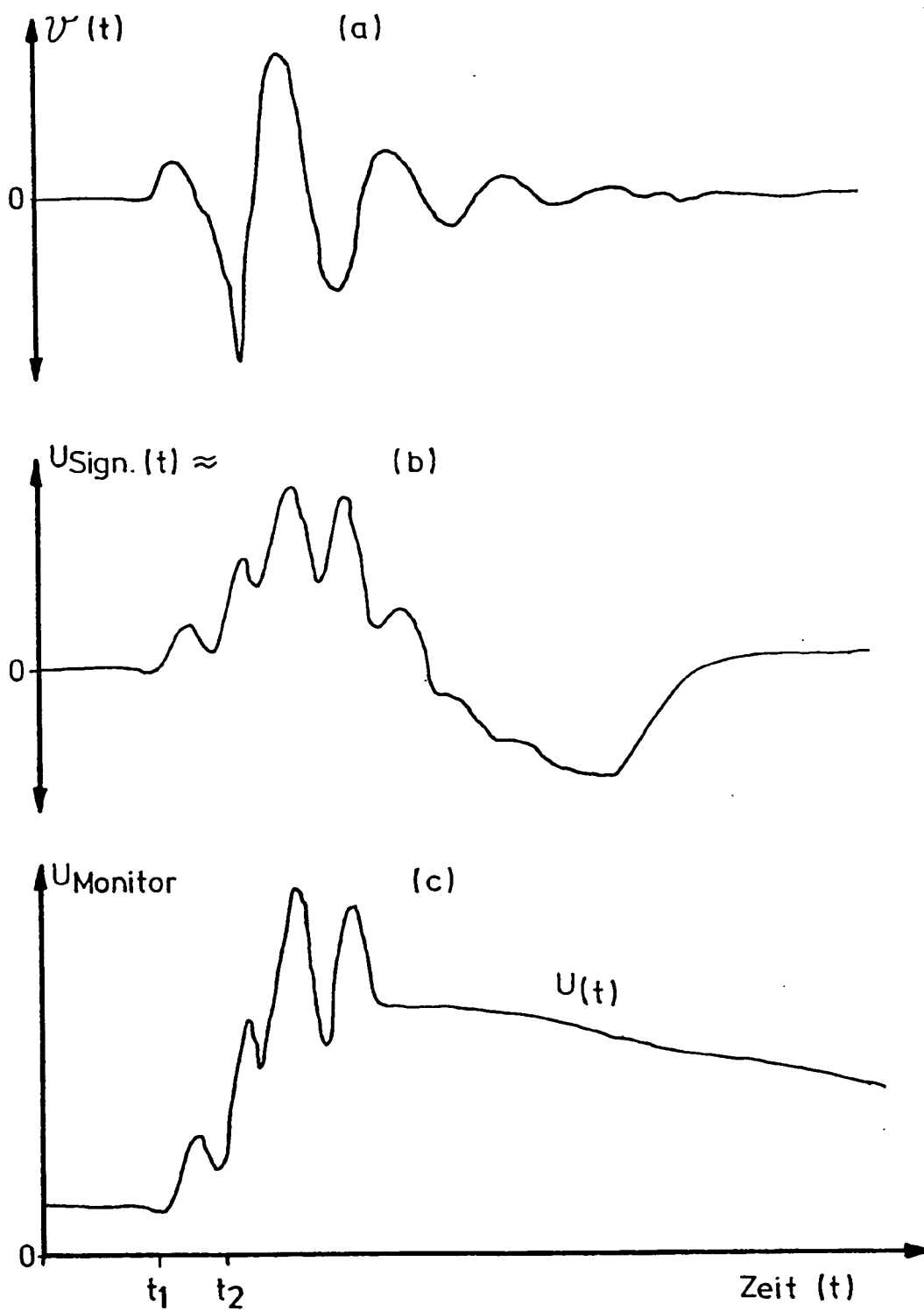


FIG. 6



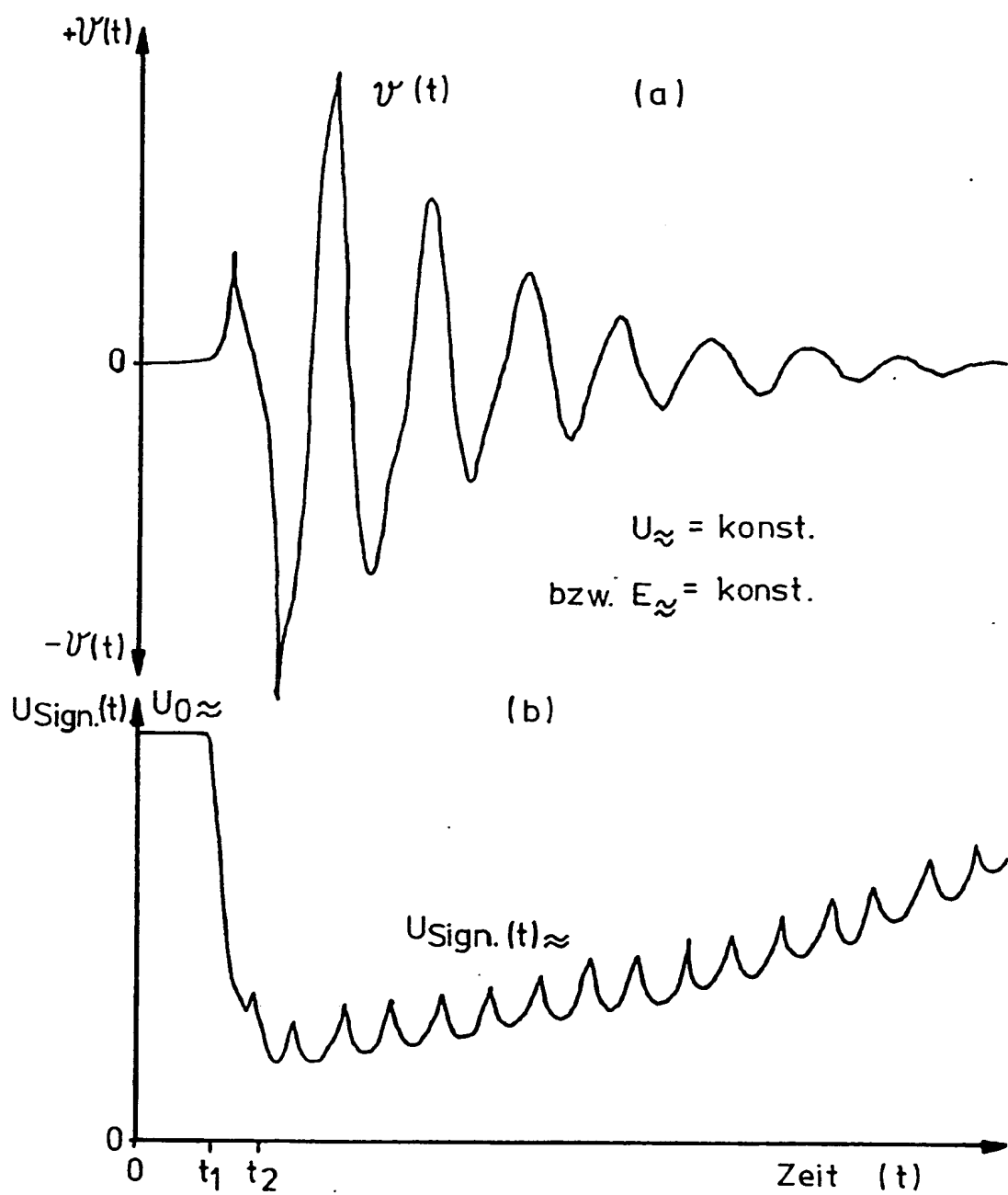


FIG. 7